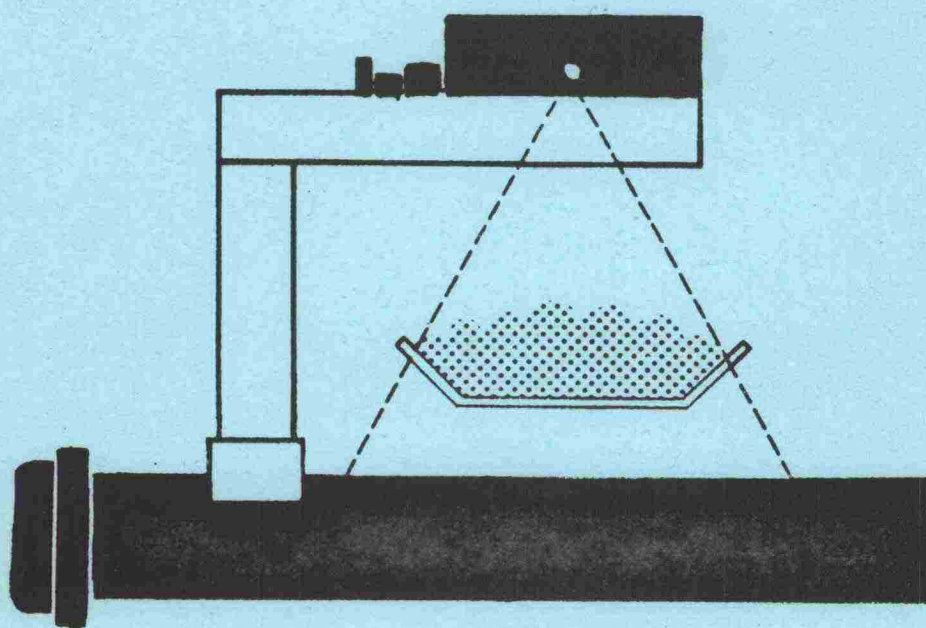


SELVITYS SÄTEILYHIHNAVAA'AN KÄYTTÖ-
MAHDOLLISUUDESTA KIVIAINESMÄÄRIEN
PUNNITSEMISEEN MURSKAUSASEMILLA



TVH
TIENRAKENNUSTOIMISTO

08
TIE-



82 0515

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
1. JOHDANTO	1
2. SÄTEILYHIHNAVAAN TOIMINTA	1
2.1 Laitteisto	1
2.2 Kalibrointi	3
3. PUNNITUSTARKKUUDET	4
3.1 Myynnissä käytettävältä vaa'alta vaadittava tarkkuus	4
3.2 Saavutettava tarkkuus	4
3.3 Vaadittava tarkkuus työmailla	4
4. BRITISH STEEL CORPORATIONIN TUTKIMUS	5
4.1 Kokeissa käytetyt säteilyhihnavaat	5
4.2 Suoritetut kokeet	6
4.3 Kokeiltujen materiaalien ominaisuudet	7
4.4 Tutkimustulokset	8
5. MURSKAAMON OHJAUS- JA SÄÄTÖJÄRJESTELMÄTUTKIMUS	10
6. KÄYTÄNNÖN KOKEET	11
6.1 Kokeissa käytetty säteilyhihnaaka	11
6.2 Talvella suoritettu koe	12
6.2.1 Tutkimusohjelma	13
6.2.2 Kokeen tulokset	13
6.3 Kesällä suoritettu koe	14
6.3.1 Tutkimusohjelma	15
6.3.2 Kokeen tulokset	16
6.4 Tulosten tarkastelu	18
6.4.1 Tarkkuus	18
6.4.2 Käyttöominaisuudet	19
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	19

KIRJALLISUUTTA

LIITTEET

1. JOHDANTO

Mittaustekniikan kehittyessä on viime aikoina tullut markkinoille uudentyyppisiä vaakoja, jotka soveltuvat kiviaineksen määrän mittaamiseen. Eräs tällainen uusi tuote on säteilyhihnavaaka. Se mittaa liukuhihnalla tai vastavalla kuljettimella kulkevan kiviaineksen määrän gammasäteilyn avulla koskettamatta itse materiaaliin.

Pienen kokonsa sekä helpon asennettavuutensa ja siirrettävyytensä ansiosta säteilyhihnavaaka saattaa soveltua mm. laskutusvaaksi kiviainesta ostettaessa tai myytäessä taikka murskauslaitoksen ohjausjärjestelmän osaksi. Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten säteilyvaaka soveltuu mm. näihin tarkoituksiin. Selvitys on tehty tutkimalla jonkin verran asiasta aiemmin tehtyjä tutkimuksia ja selvityksiä sekä suorittamalla käytännön kokeita Ohmart Weighart II säteilyvaakalla sekä talvi- että kesäolosuhteissa.

Selvitys on tehty yhteistyössä TVH:n, TVL:n Hämeen ja Uudenmaan piirin, Kone Oy:n ja laitteen maahantuojaan, Intercontrol Oy:n, kanssa. Selvitystyössä olivat mukana dipl.ins. Erkki Matilainen, ins. Kalevi Toikkanen ja tekn.yo. Pentti Köylijärvi TVH:sta, työntutkija Asko Miettinen Hämeen piiristä, ins. Juhani Ilmonen Uudenmaan piiristä, projekti-ins. Tapio Jokinen Kone Oy:stä ja ins. Pertti Rantala Intercontrol Oy:stä. Käytännön kokeiden tekemisessä avustivat lisäksi TVL:n Hämeen piirin ja Karjalan Murskeen työntekijät. Oheisen selvityksen laati tekn.yo. Pentti Köylijärvi.

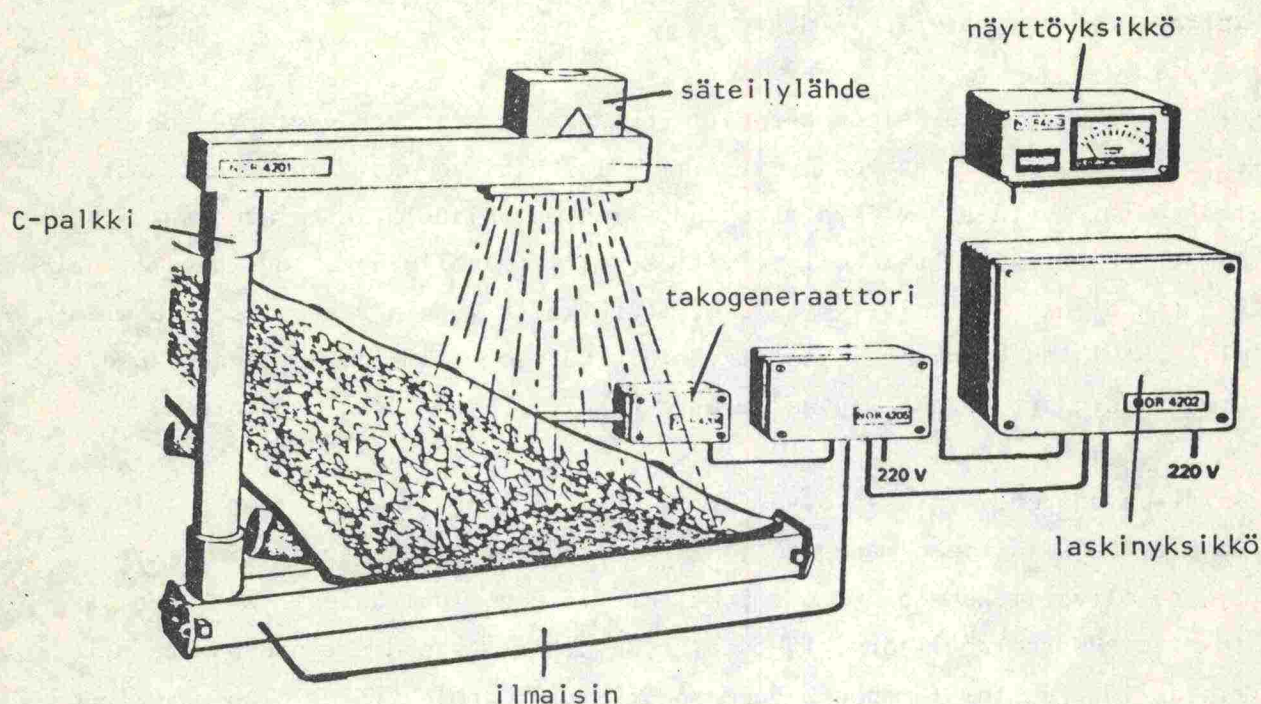
2. SÄTEILYHIHNAVAAKAN TOIMINTA

2.1 Laitteisto

Säteilyhihnavaakan toiminta perustuu mitattavan aineen, esim. hihnalla kulkevan murskeen kykyyn absorboida radioaktiivista säteilyä. Tämä absorptio-kyky on suoraan verrannollinen mitattavan materiaalin massa-

Vaakan säteilylähde emittoi gammasäteilyä, josta osa absorboituu mitattavaan materiaaliin ja loppu säteilystä saapuu ilmaisimelle. Tämän ilmaisimelle tulleen ja emittoitun gammasäteilyn erotuksena saadaan aineen absorboima säteilymäärä, jonka avulla saadaan laskettua hihnalla olevan materiaalin massa poikkileikkauksessa. Yhdistämällä tämä tieto hihnan nopeuden kanssa saadaan hihnalla kulkevan materiaalin massamäärä aikayksikössä.

Massan mittaustavasta johtuen vaakassa ei ole liikkuvia osia paitsi tarvittaessa takogeneraattori hihnan nopeuden määrittämistä varten. Vaaka tarvitsee vain vähän tilaa ja näin ollen se voidaan yleensä asentaa kaikkiin kuljettimiin. Jälkiasennus ja siirto toiseen kuljettimeen ovat myös yleensä mahdollisia. Kuvassa 1 on esitetty eräs säteilyhihnavaakatyypä.



Kuva 1: Säteilyhihnavaaka NORATOM NOR 4200

Yleensä säteilyhihnavaaka on rakennettu siten, että säteilylähde on sijoitettu hihnan yläpuolelle ja ilmaisim hihnan alapuolelle. Tätä säteilylähteen ja ilmaisimen muodostamaa yhtenäistä rakennetta kutsutaan yleisesti muotonsa takia C-palkiksi. Säteilylähteenä käytetään joko pistemäistä tai putkimaista säteilijää, jossa säteilymateriaalina käytetään yleensä Caesium-isotooppia 137. Käytettävän säteilyn voimakkuus on 35-100 mCi (millicurie), kuitenkin yli 50 mCi:n säteilyvoimakkuudet ovat harvinaisia. Ilmaisinoso on aina vähintään kuljetinhihnan levyinen putkimainen rakenne, jossa ilmaisimena käytetään erilaisia ratkaisuja, esimerkiksi ionisaatiokammioita tai Geiger-Müller putkia. Käytettäessä putkimaista säteilijää on myös mahdollista asentaa säteilijä hihnan alapuolelle ja ilmaisim hihnan yläpuolelle.

Säteilyhihnavaakat käyttävät radioaktiivista gammasäteilyä. Vaakat ovat yleensä kuitenkin suojattu siten, että työskenneltäessä metriä kauempana säteilylähteestä ei terveydellistä riskiä säteilyn takia ole olemassa. Säteily ei

myöskään saata mitattavaa materiaalia taikka kuljetinta radioaktiiviseksi.

Radioaktiiviseen säteilyyn perustuvan hihnavaa'an parhaimmiksi ominaisuuksiksi muihin hihnavaakoihin nähden yleensä esitetään seuraavia ominaisuuksia:

- pieni tilantarve kuljettimella
- vaa'an siirtäminen kuljettimelta toiselle mahdollista
- on asennettavissa myös muunlaisiin kuljettimiin, kuten tärykouruihin, telasyöttimiin ja ruuvikuljettimiin
- vaa'assa ei ole liikkuvia osia
- toimintaan ei vaikuta värinä, hihnan kireys eikä asennuskulma (jollei materiaali valu hihnalla)
- kosteiden, kuluttavien ja tarttuvien materiaalien mittaaminen on myös mahdollista.

2.2 Kalibrointi

Kalibroinnissa vaa'an laskinosalle annetaan ne lähtötiedot, jotka tarvitaan oikean punnitustuloksen saamiseksi. Yleensä säteilyyn perustuvan vaa'an kalibrointi jaetaan peruskalibrointiin ja päivittäiseen tai viikoittaiseen tarkistukseen ja säätöön. Peruskalibrointiin kuuluvat usein ainakin seuraavat toimenpiteet, jotka kuitenkin vaihtelevat hieman vaakatyypistä riippuen.

1. Vaa'an osoitus säädetään näyttämään nollaa hihnan ollessa tyhjä.
2. Jokaisesta punnittavasta materiaalista määritetään sen maksimikuormaa vastaava arvo, kun materiaalia on hihnalla hihnan maksimikuormaa vastaava määrä.
3. Suoritetaan linearisaattorin kalibrointi. Linearisaattorin osoitus asetetaan näyttämään emittoituneen säteilyn määrää massaansa suoraviivaisesti verrannollisena.
4. Asennetaan takogeneraattori näyttämään hihnan maksiminopeutta hihnan kulkiessa tyhjänä.
5. Suoritetaan kalibroinnin tarkistus.

Uusimmissa vaa'issa tallennetaan tiedot peruskalibroinnista ja linearisointikäyrästä laskinyksikön muistiin. Tällöin välttytään uudelleenkalibroinnista ja ainoaksi tarkistukseksi jää säteilyn perustason tarkistus tyhjälle kuljetinhihnalle.

3. PUNNITUSTARKKUUDET

3.1 Myynnissä käytettävältä vaakalta vaadittava tarkkuus

Suomen vakauslaki ja -asetus antavat määräykset mittausvälineen tarkkuudesta, jota tavaraa johonkin mittaan perustuen myytäessä vaaditaan. Lakia ja asetusta täydentävissä määräyksissä on lisäksi määritetty erityyppisten mekaanisten vaakojen tarkkuusvaatimukset. Vaaoilla, joiden punnituskyky on yli 100 kg, on vakaustarkkuus 0,6 % ja käyttövirheraja 1,2 % päätearvosta. Sähkömekaanisilla vaaoilla tarkkuusvaatimus on yleensä 1,5 x jakoväli.

Lain mukaan on myynnissä käytettävä vaaka vaakattava. Vakaustoimisto ei kuitenkaan ole tähän mennessä tarkastanut yhtään säteilyyn tai muuhun menetelmään perustuvaa hihnavaakaa.

3.2 Saavutettava tarkkuus

Radioaktiiviseen säteilyyn perustuvan hihnavaa'an punnitusmenetelmä on välillinen. Siinä mitataan aineen jotain ominaisuutta, joka on verrannollinen aineen massaan. Tätä ominaisuutta ja massan välistä riippuvuutta hyväksi käyttäen saadaan laskennallisesti selville mitattavan aineen massa. Tällöin on myös selvää, että vaakalla saavutettavissa oleva tarkkuus ei ole samaa luokkaa kuin mekaanisilla, suoraan menetelmään perustuvilla vaaoilla.

Yleisenä käsityksenä on, että radioaktiivisilla hihnavaaoilla päästään hyvissä olosuhteissa 0,5 - 1 %:n tarkkuuteen. Varsinkin, jos halutaan päästä 1 %:a parempiin tarkkuuksiin, tulee mitattavan materiaalin olla homogeenista ja hienorakeista sekä sen kosteuspitoisuuden tulee olla vakio. Vaa'an kalibrointi ja sen oikea suoritus ovat ensiarvoisen tärkeitä pyrittäessä edes kohtuulliseen tarkkuuteen.

3.3 Vaadittava tarkkuus työmailla

TVL:n töissä kiviaineksen mittaamista säätelevät määräykset, jotka on esitetty Murskaustöiden urakkaohjelmassa (TVH 731460) ja Murskaustyön valvontaohjeissa (TVH 732810). Murskaustyön urakkaohjelmassa todetaan ainoastaan, että murskaustuotteet mitataan rakennuttajan hyväksymää ja tarkistamaa mittaus- tapaa noudatten. Tulokset tulee ilmoittaa mittaustavasta riippuen joko

tonneina tai m³itd:na. Murskaustyön valvontaohjeissa on tarkemmin määriteltä minkälaisia mittaustapoja tulee ensisijaisesti käyttää. Painoa mitattaessa tulee käyttää autovaakaa. Punnituksessa käytettävälle vaakalle on asetettu sallituksi virheeksi $\pm 2 \%$. Tilavuusmittaus tulee ohjeen mukaan tapahtua rakennuttajan tarkistamien kuorma-autojen lavamittojen perusteella. Ohjeessa on lisäksi suotu mahdollisuus käyttää myös vaaitsemista.

Kiviainesta punnittaessa on syytä muistaa, että ei ole aiheellista pyrkiä liian hyvään tarkkuuteen. Kiviaines sisältää aina vettä ja tämä veden määrä vaikuttaa suuresti todelliseen tarkkuuteen. Jo prosentin kosteuspitoisuuden ero merkitsee 10 kg vettä tonnissa kiviainesta. On myös esitetty ajatus, että hihnavaakaa käytettäessä määritetään lisäksi kiviaineksen kosteuspitoisuus esimerkiksi neutronisäteilyyn perustuen ja joko automaattisesti tai käsin korjataan kiviaineksen määrä vastaamaan kuivaa kiviainesta. Tällöin vähennetään ns. "veden myymisen" merkitystä massamääriä tarkasteltaessa.

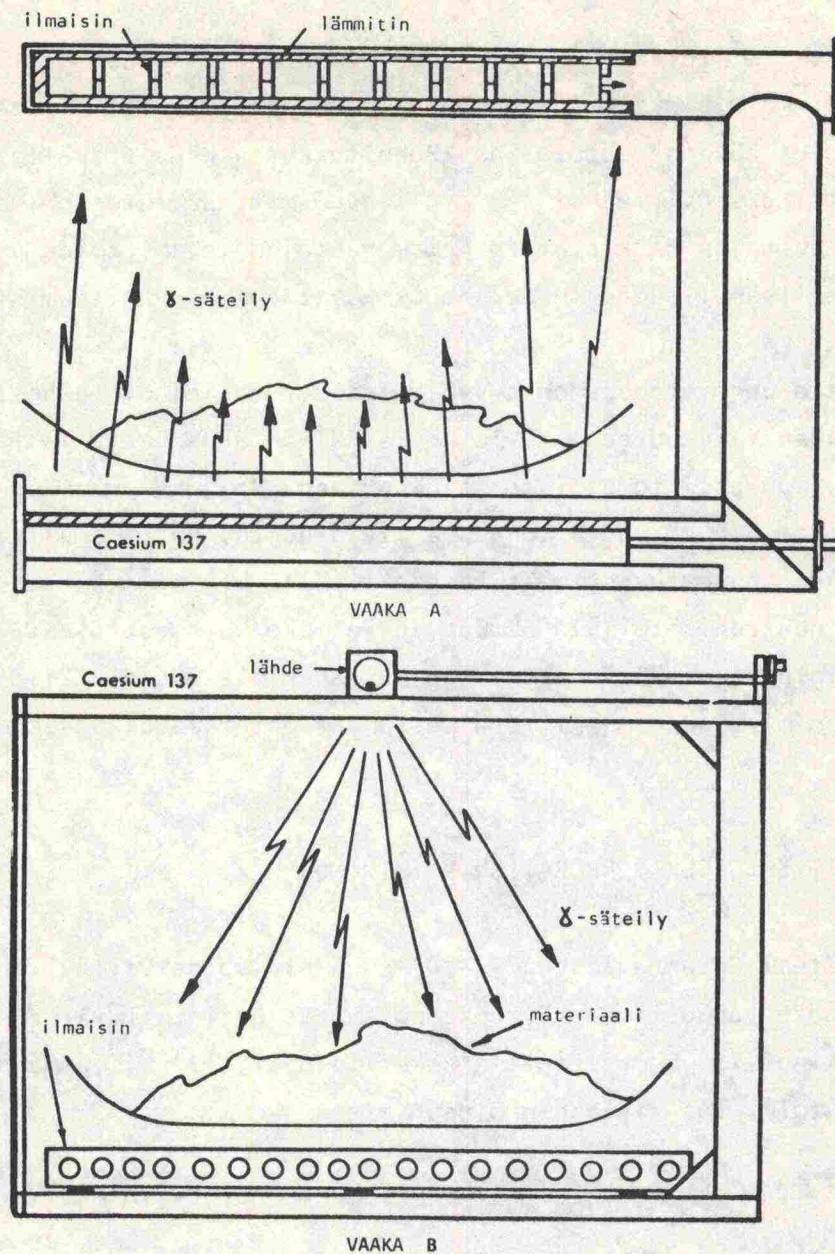
4. BRITISH STEEL CORPORATIONIN TUTKIMUS

British Steel Corporation on jo 70-luvun alussa selvittänyt säteilyhihnavaa'an luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta heti ensimmäisten vaakojen tultua markkinoille. Suoritetuilla kokeilla pyrittiin nimenomaan selvittämään vaakojen toimintaa käytännön olosuhteissa.

4.1 Kokeissa käytetyt säteilyhihnavaa'at

Kokeet suoritettiin kahdella hieman toisistaan poikkeavalla hihnavaa'alla. Toinen, vaaka A, oli jo markkinoilla ollut malli. Siinä putkimainen säteilylähde oli asetettu kuljettimen alapuolelle ja ilmaisinosä hihnan yläpuolelle. Ilmaisinosä oli ryhmä ionisaatiokammioita peräkkäin asennettuna.

Vaaka B oli vasta prototyyppi. Tämä vaaka käytti pistemäistä, kuljettimen yläpuolelle asetettua säteilylähdettä. Ilmaisinosä oli koottu Geiger-Müller putkista ja se oli vastaavasti hihnan alapuolella. Kummassakin vaakassa ilmaisinosä oli hyvin samantapainen. Ilmaisimelta tullut signaali vahvistetaan ja linearisoidaan. Yhdessä takogeneraattorilta saadun hihnan nopeuden avulla laskinyksikkö laskee hihnalla kulkevan materiaaliavirran ja tarvittaessa myös materiaaliäärän. Kuvassa 2 on esitetty periaatekuvat kummastakin vaakasta.

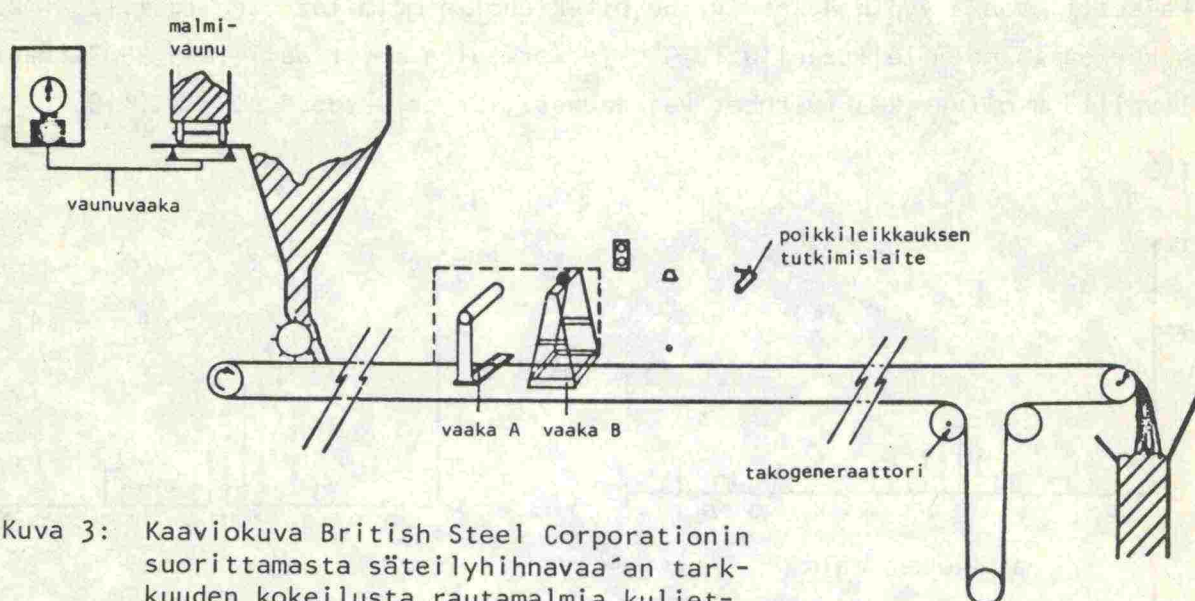


Kuva 2: British Steel Corporationin kokeissa käytettyjen säteilyhihnavaakojen poikkileikkaukset

4.2 Suoritetut kokeet

Vaaoilla suoritettiin kokeita sekä rautamalmia että hiiltä kuljettavilla hihnoilla. Molempia vaakoja kokeiltiin rautamalmia kuljettavan hihnan yhteydessä. Kokeessa vaakat asetettiin samalle kuljetinhihnalle, jolloin voitiin vertailla vaakoja keskenään. Kuljetinhihnalle malmi tuli rautatievaunuista, joiden lastin määrä määriteltiin vaunuvaunan avulla. Käytetty vaunuvaaka täytti Englannissa noudatettavan kaupassa käytettäville vaaoille asetetun tarkkuusvaatimuksen 0,1 %:n tarkkuudesta. Hihnan nopeutta mittaa-

van takogeneraattorin tarkkuus oli 0,15 %. Kokeilua suoritettiin neljän kuukauden ajan. Kuvassa 3 on esitetty kaaviokuva koejärjestelystä.



Kuva 3: Kaaviokuva British Steel Corporationin suorittamasta säteilyhihnavaa'an tarkkuuden kokeilusta rautamalmia kuljetavan kuljetinhihnan yhteydessä

Koska haluttiin selvittää, miten vaa'at toimivat eri materiaalien yhteydessä, suoritettiin kokeita myös kivihiiltä kuljettavan hihnan yhteydessä. Kokeita suoritettiin ainoastaan vaakatyypin B kanssa. Koejärjestely oli samanlainen kuin rautamalvilla suoritettujen kokeiden yhteydessä, paitsi vertailuvaakana käytettävä vaunuvaaka ei ollut tarkistettu vakausmääräysten mukaisesti. Tämän takia otettiin kokeilun loppuvaiheessa toiseksi vertailuvaa'aksi myös sähkömekaaninen hihnavaaka. Kummankin materiaalin yhteydessä pyrittiin myös selvittämään hihnalla olevan materiaalin poikkileikkauksen vaihtelun ja vaa'an virheen välistä riippuvuutta.

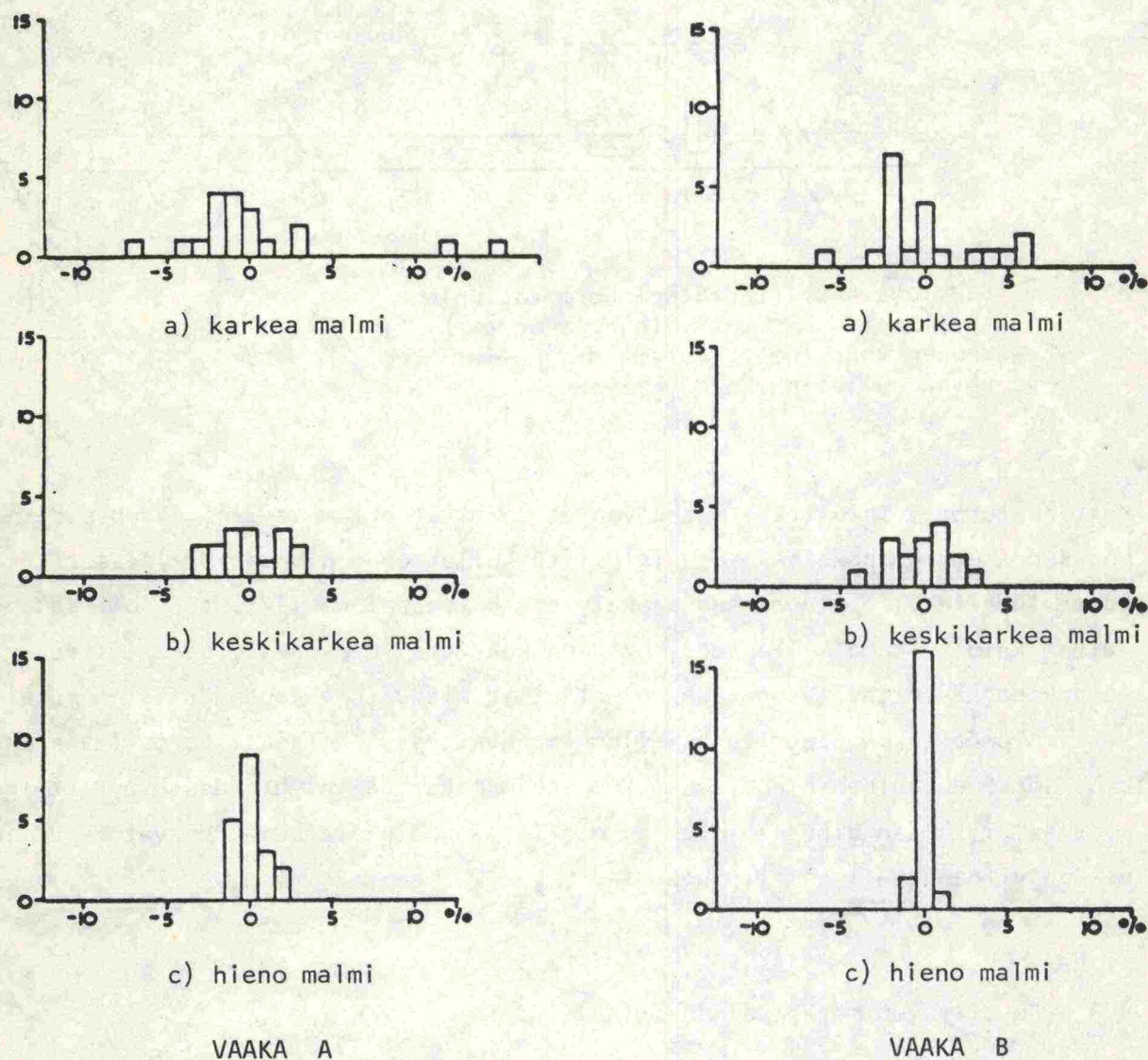
4.3 Kokeiltujen materiaalien ominaisuudet

Kokeilussa mukana ollut rautamalmi jaettiin kolmeen luokkaan rakeisuuden mukaan ja vaa'an tarkkuutta tarkasteltiin kussakin luokassa erikseen. Luokat olivat hieno malmi ($\# < 6$ mm), keskikarkea malmi ($\# 6-12$ mm) ja karkea malmi ($\# 12-300$ mm). Rautamalmin kosteus vaihteli kokeiluaikana huomattavasti, mutta pääasiassa malmi oli hyvin kostea.

Käytetyn kivihiilen rakeisuus vaihteli huomattavasti sen mukaan mistä hiili oli peräisin. Tulokset rekisteröitiin eri kivihiililaaduille erikseen.

4.4 Tutkimustulokset

Erityyppisillä rautamalmilajitteilla todetut virheet jakautuivat kuvan 4 mukaisesti. Vaakatyypin A keskivirhe oli hienolla malmilajitteella 1,12 %, keskikarkealla malmilajitteella 1,79 % ja karkealla materiaalilla 5,55 %. Vaakatyypillä B olivat keskivirheet vastaavassa järjestyksessä 0,36 %, 1,95 % ja 3,20 %.



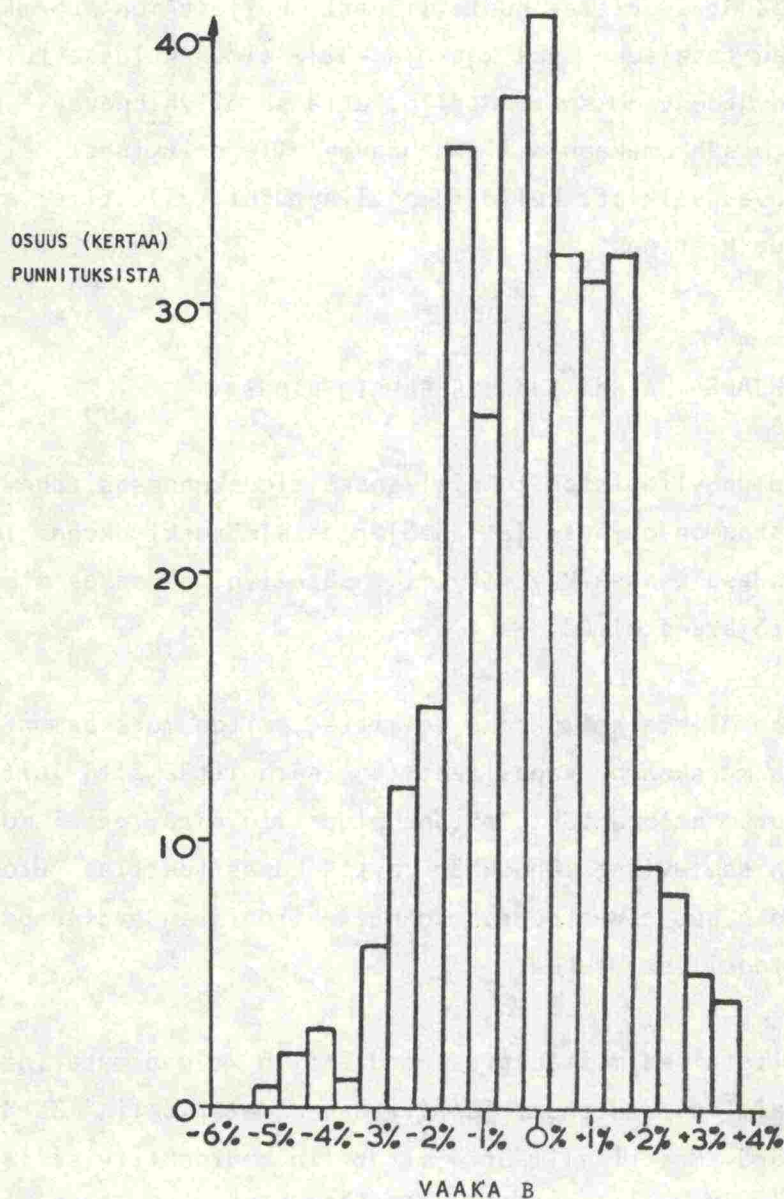
Kuva 4: Rautamalmilla suoritettujen kokeiden tulosten jakautuma

Poikkileikkauksen vaikutusta punnituksen tarkkuuteen selvitettäessä havaittiin, että poikkileikkauksen muoto vaihteli huomattavasti eri malmilajitteiden välillä, mutta vaihtelu oli melko pientä yksittäisellä lajitteella.

Rautamalmia kuljettavalla hihnalla kummankin vaakalan toiminta oli samanlaista. Vaakojen herkkyyys kiviaineksen vaihtelulle sekä myös muunlaisille häiriöteki-

jöille vaikutti yhtenevältä.

Kivihiilellä suoritetuissa kokeissa saatiin vaakatyypille B virheeksi 0,8 %:sta 1,4 %:iin, joka vastaa hyvin hienon ja keskikarkean malmin kanssa saatuja tarkkuuksia. Kun kaikki hiilellä suoritettut punnitukset yhdistettiin, saatiin keskimääräiseksi virheeksi 1,56 %. Kuvassa 5 on esitetty kivihiilellä suoritettussa kokeessa havaittujen virheiden jakautuma. Poikkileikkaukset eivät hiilellä vaihdelleet kovinkaan paljon, joten se ei vaikuttanut saatuihin tuloksiin.



Kuva 5: British Steel Corporationin hiilellä suoritettujen hihnavaakojen tarkkuuskokeiden tarkkuuden jakautuminen

Hiilellä suoritettujen kokeiden aikana selvitettiin myös vesipitoisuuden vaikutusta punnituksen tarkkuuteen. Hiilen vesipitoisuutta verrattiin vaa'an antamaan tarkkuuteen. Suoritetussa lineaarisessa regressiossa saatiin vesipitoisuuden ja vaa'an tarkkuden väliseksi korrelaatiokertoimeksi 0,21, joten vesipitoisuuden ei voida katsoa vaikuttaneen vaa'an tarkkuuteen.

Yhteenvetona British Steel Corporationin suorittamista kokeista on todettavissa, että säteilyhihnavaa'alla päästään hieman materiaalista riippuen keskimäärin 1-2 %:n tarkkuuteen ja suurimmat yksittäisetkin virheet ovat alle 5 %. Jos säteilyhihnavaa'alta halutaan mahdollisimman hyvää tarkkuutta, tulee kalibrointi ja vaa'an säädöt suorittaa huolellisesti, kuljettimen kuormitus tulee pitää mahdollisimman tasaisena sekä katkoja kuljettimen kulussa tulee välttää. Samoin kokeen loppuyhteenvedossa todettiin, että säteilyhihnavaaka on käyttökelpoinen vaihtoehto sähkömekaaniselle hihnavaa'alle erityisesti silloin kun asennusolosuhteet ovat vaikeat, kuljetin on lyhyt tai kuljettimella joudutaan käyttämään suljettua kiertoa.

5. MURSKAAMON OHJAUS- JA SÄÄTÖJÄRJESTELMÄTUTKIMUS

Jorma Ålander on Oulun yliopiston teknillisessä tiedekunnassa tehnyt v. 1978 diplomityönään murskaamon ohjaus- ja säätöjärjestelmätutkimuksen. Tutkimuksessa on sen kokeellisessa osassa käytetty myös säteilyhihnavaakaa osana tutkittua ohjaus- ja säätöjärjestelmää.

Kokeellisessa osassa oli tarkoituksena selvittää, miten murskaamon toimintaa voidaan tehostaa ja murskaamon kapasiteettia lisätä lisäämällä laitoksen instrumentointia ja automaatiota. Lähtökohtana pidettiin sitä, ettei murskaamosta ole käsiohjauksella saatavissa läheskään täyttä kapasiteettia. Automaattiohjaus ja murskaamon eräiden suureiden seuraaminen elektroniikan avulla pystyisi nostamaan murskaamon todellista tehoa.

Tutkimuksessa suoritetuissa mittauksissa seurattiin kolmea materiaalisuuretta, jotka olivat murskaimien pätötehot, läpivirtaavan materiaalin määrä ja kiertävän materiaalin määrä. Materiaalimääriä mitattiin radioaktiivisilla hihnavaaoilla (tutkimuksessa käytettiin NORATOM NOR 4200 hihnavaakaa). Kokeessa ei tutkittu radioaktiivisten hihnavaakojen tarkkuutta, eikä myöskään ollut selvitetty murskaamon ohjausjärjestelmässä tämäntyyppisiltä vaaoilta vaadittavaa tarkkuutta. Tutkimuksessa todettiin, että suorittamalla murskaamon em. suureiden seuranta pystyttiin osoittamaan murskaamon toiminnan pullonkaulat ja nostamaan murskaamon kapasiteettia.

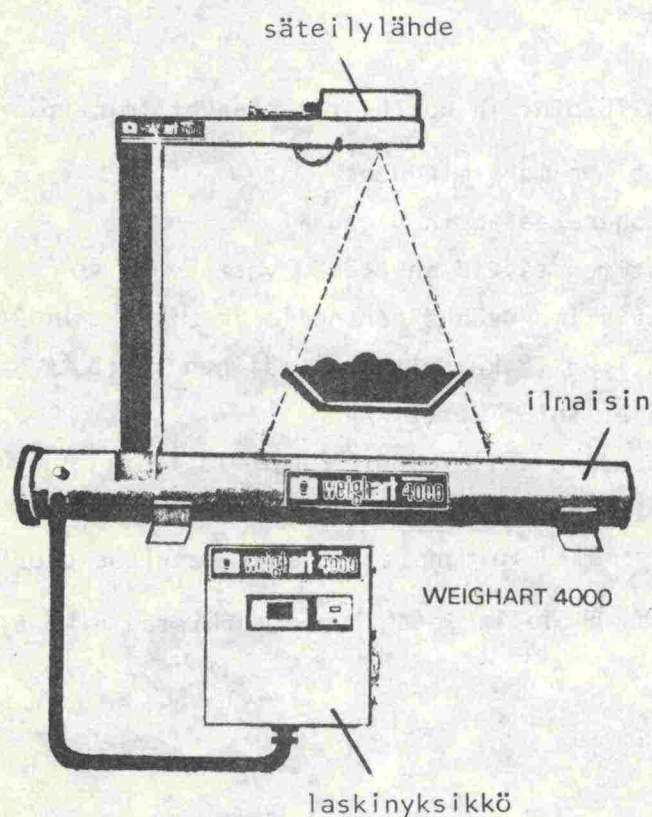
6. KÄYTÄNNÖN KOKEET

6.1 Kokeissa käytetty säteilyhihnavaaka

Kone Oy:n tarjottua TVL:lle Ohmart-Weighart säteilyhihnavaakaa esittäen samalla sen etuja vanhoihin kiviaineksen punnituksessa käytettyihin vaakoihin, kuten autovaakaan tai sähkömekaaniseen hihnavaakaan nähden, päätettiin järjestää kyseisentyypisellä vaakalla käytännön kokeita vaakojen luotettavuuden ja käyttöominaisuuksien selvittämiseksi.

Suoritettavien kokeiden erääksi päätarkoituksiksi tuli selvittää, soveltuisiko säteilyhihnavaaka laskutusvaaksi mursketta ostettaessa ja ajettaessa, sillä helpon asennettavuutensa ja siirrettävyytensä sekä pienen kokonsa puolesta vaaka sopisi tällaiseen käyttöön hyvin.

Kokeita järjestettiin kaksi, toinen talvella TVL:n Hämeen piirin Padasjoen murskaamolla ja toinen kesällä Karjalan Murskeen Sköldvikin murskaamolla. Kokeissa käytettiin Ohmart-Weighart 4000 säteilyhihnavaakaa. Näitä vaakoja on maailmalla käytössä yli 1 000 kpl ja Suomessa yli 20 kpl. Kuvassa 6 on esitetty ko. vaaka sekä sen tärkeimmät osat.



Kuva 6: Ohmart-Weighart 4000 säteilyhihnavaaka

Vaaka on varustettu pistemäisellä säteilylähteellä, joka on koteloitu C-palkin ylemmän varren päähän kaksinkertaiseen haponkestävään vaippaan. Säteilylähteenä vaakassa käytetään Caesiumin isotooppia 137. Säteilijän pidin on varustettu säteilysuojilla siten, että säteily ei ylitä 1 metrin etäisyydellä säteilijästä 0,5 mR/h (milliröntgeniä tunnissa). Säteilijän pitimessä on sulkija, joka pidetään kiinni kuljetuksen, varastoinnin ja huollon aikana ja auki mittauksen aikana.

Mittauskennona vaakassa käytetään ionisaatiokammiota, joka on asennettu C-palkin alempaan varteeseen siten, että laitteen ollessa asennettuna se tulee kuljetinhinnan alapuolelle. Mittakennon ja sen päässä olevan vahvistimen lämpötila säädetään 60°C vakio- lämpötilaan . Tällä pyritään eliminoimaan mm. ympäristön lämpötilavaihteluiden vaikutus mittaukseen.

Vaakan elektroniikkayksikkö on erillisessä kotelossa, joka voidaan asentaa esim. laitoksen ohjausvaunun seinälle. Pisin kaapelipituus voi olla enintään 900 m. Kotelo on roiskevesi- ja pölytiivis. Elektroniikkayksikön toimintalämpötila on 0-55°C, joten Suomen talviolosuhteissa tulee elektroniikkayksikkö sijoittaa lämmitettävään tilaan. Laitteistoon on lisättävissä kokonaismäärän laskin, näyttöyksikkö ja/tai vahvistin, josta saadaan virtaukseen verrannollinen standardiviesti, jolloin laite voidaan kytkeä suoraan esim. murskauslaitoksen automaattiohjaukseen.

Ohmart-Weighart vaakan kalibrointiin kuuluvat seuraavat toimenpiteet:

- määrätään kuljettimen maksiminopeus
- kalibroidaan takogeneraattorin signaali
- lasketaan vahvistimen täyttä näyttämää vastaava arvo
- kalibroidaan vahvistimen sähköinen nolla ja mitta-alue x)
- määrätään vahvistimen ja kuormituksen välinen käyrä x)
- kalibroidaan linearisointikortti
- tarkistetaan tehtaalla kalibroidut määrä- ja laskijasignaalit
- suoritetaan kalibroinnin tarkistus.

x) Uusimmissa malleissa ei näitä toimenpiteitä enää tarvitse suorittaa.

Kalibrointi tulee suorittaa huolella ja se tulee tarkistaa aika ajoin ns. vertailulevyn avulla.

6.2 Talvella suoritettu koe

Koe suoritettiin TVL:n Hämeen piirin murskaamalla Padasjoella. Murskauslaitoksena oli Lokomo ML-75 ja kokeissa säteilyhihnavaaka oli asennettu seulas-

ton jälkeen mursketta auton lavalle kuormaavalle hihnalle. Tässä kokeessa pyrittiin erityisesti selvittämään talviolosuhteiden vaikutusta vaa'an käyttöön.

6.2.1 Tutkimusohjelma

Koe suoritettiin tammikuun 5.-30. päivinä 1981. Kokeessa selvitettiin murskauskämmät seuraavasti:

1. hihnavaa'an avulla tonneina
2. kuutiometreinä autokuormien perusteella
3. kuormien määrät.

Suoritetun kokeen aikana oli tuotannossa kahta murskelajitetta: 5.-27.1. lajite 0-35 mm sekä 29. ja 30.1. lajite 0-65 mm.

Vaa'an tarkkuutta selvitettiin viidellä tarkistuspunnituksella. Tarkistuspunnitukset suoritettiin Hämeen Peruna Oy:n autovaa'alla Hämeenlinnassa. Autovaa'alla punnituista kuormista selvitettiin lisäksi kuormien tilavuudet tasaamalla kuormat ja mittaamalla kuormien pituus, korkeus ja leveys. Kuormien sisältämästä murskeesta määritettiin laboratoriokokeilla irtotiheys, kiintotiheys, muotoarvo, murtopintaluku ja kosteuspitoisuus. Tarkistuspunnitukset pyrittiin tekemään mahdollisimman vaihtelevissa sääoloissa, mutta johtuen vuoden 1981 tammikuun säistä lämpötila vaihteli vain välillä -2°C ... -7°C . Kahtena punnituskertana satoi lunta ja kolme kertaa oli poutaa.

6.2.2 Kokeen tulokset

Kaikki kokeen aikana suoritettujen mittausten tulokset on esitetty liitteessä 1. Taulukossa 1 on esitetty tarkistuspunnitusten yhteenvedotulokset.

	Hihnavaaka paino t	Autovaaaka paino t	Erotus	Virhe %	Murske m^3/itd
Lajite 0-35 mm					
13.1.	15,30	12,20	+3,10	+25,4	7,81
Hihnava. säätö					
20.1.	10,90	11,42	-0,52	- 4,6	7,29
22.1.	13,90	14,12	-0,22	- 1,6	8,85
27.1.	13,50	13,44	-0,06	+ 0,5	8,46
20.-27.1. ka				- 1,9	
Lajite 0-65 mm					
29.1.	13,60	16,42	-2,82	-17,2	9,24

Taulukko 1: Autovaa'alla suoritettujen tarkistuspunnitusten tulokset talvella suoritettussa kokeessa

Lajitteella 0-35 mm ensimmäinen tarkistuspunnitus näytti +25,4 %:n virhettä, jonka jälkeen suoritettiin hihnavaa'an säätö. Tämän jälkeen samalla lajitteella suoritettut punnitukset antoivat -4,6 ... +0,5 %:n tarkkuuteen yltäviä tuloksia. Kolmen punnituksen keskiarvo oli -1,9 %.

Lajitteella 0-65 mm suoritettussa tarkistuspunnituksessa saatiin -17,2 %:n virhe. Myöhemmin kuitenkin huomattiin, että vaa'an nollapiste oli siirtynyt arvoon -15 % ilmeisesti kaapelivaurion seurauksena.

Taulukossa 2 on esitetty mitatut irtotiheydet sekä hihnavaa'an, autovaa'an että laboratoriokokeiden perusteella määritettynä. Hihnavaa'alla ja laboratoriokokeilla määritetyt irtotiheyksien suhteet poikkesivat selvästi hihnavaa'an ja autovaa'an antamien irtotiheyksien suhteista. Näissä eroissa ei myöskään ole havaittavissa selvää johdonmukaisuutta, vaikka viidesssä tapauksessa kuudesta on laboratorion antama irtotiheys suurempi kuin autovaa'alla saatu irtotiheys.

	Irtotiheys t/m ³			Hihnavaa' - autov.	%	Hihnavaa' - laborat.	%
	Hihnavaa'ka	Autovaa'ka	Laboratorio				
Lajite 0-35 mm							
13.1.	1,96	1,56	1,70	+0,40	+25,6	+0,26	+15,3
Hihnavaa' säätö							
20.1.	1,50	1,57	1,67	-0,07	- 4,5	-0,17	-10,2
22.1.	1,57	1,60	1,59	-0,03	- 1,9	-0,02	- 1,3
27.1.	1,60	1,59	1,67	+0,01	+ 0,6	+0,07	+ 4,2
20.-27.1. ka	1,56	1,59	1,64		- 1,9		- 2,4
Lajite 0-65 mm							
29.1.	1,47	1,78	1,81	-0,31	-17,4	-0,34	-18,8

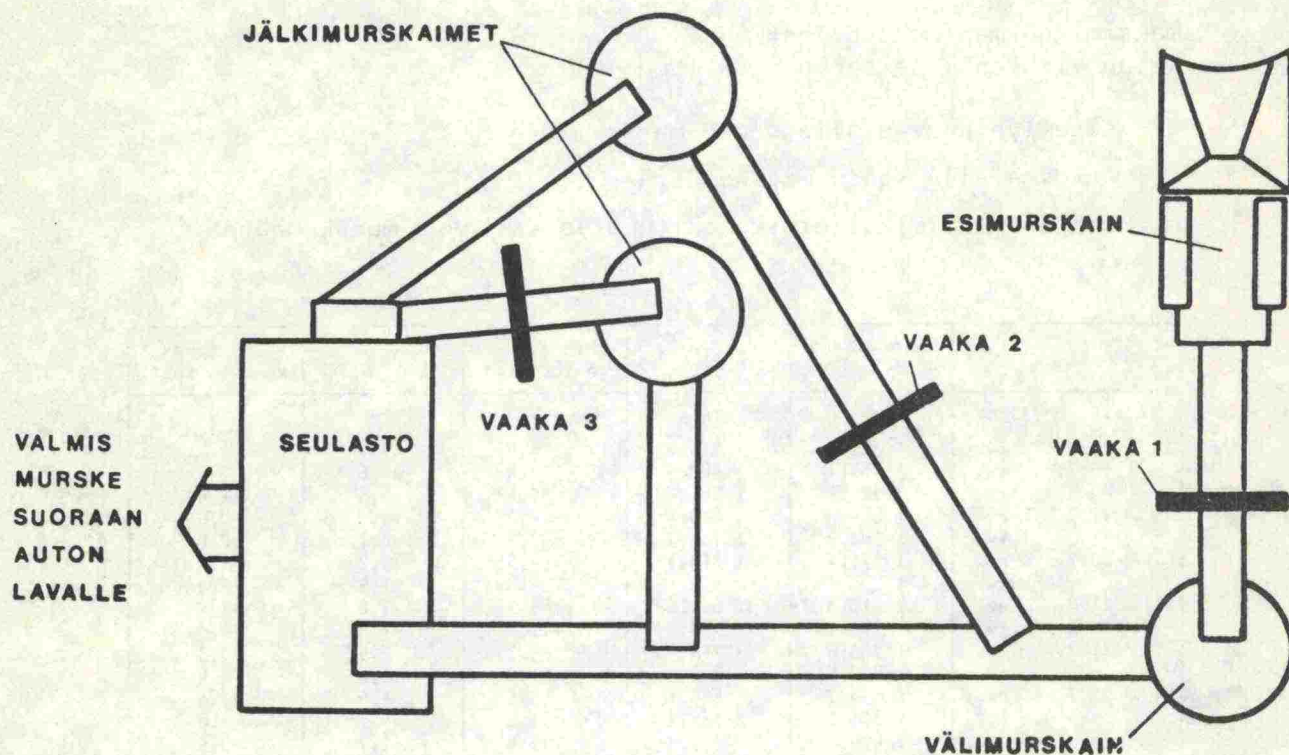
Taulukko 2: Talvella suoritettussa kokeessa sekä hihnavaa'alla, autovaa'alla että laboratoriossa määritetyt irtotiheyden ja niiden suhteet

6.3 Kesällä suoritettu koe

Koe tehtiin Karjalan Murske Oy:n Sköldvikin murskaamolla TVL:n Uudenmaan piirin murskausurakan yhteydessä. Murskattavana materiaalina oli kallio. Kokeilla pyrittiin selvittämään vaa'an toimintaa kesäolosuhteissa. Koska käytössä oli useampia vaakoja, yritettiin myös kokeilla vaakoja apuna käyttäen murskauslaitoksen ohjausta. Tämä ei murskauslaitoksen rakenteesta johtuen kuitenkaan onnistunut.

6.3.1 Tutkimusohjelma

Käytössä oli kaikkiaan kolme säteilyhihnavaakaa, joista yksi asennettiin esimurskaimen ja seulaston väliin, toinen seulaston ja 1. jälkimurskaimen sekä kolmas 2. jälkimurskaimen ja seulaston väliin. Kaaviokuva vaakojen sijainnista on esitetty kuvassa 7. Laskemalla vaakojen 2 ja 3 läpi kulkeneet murskemäärät yhteen saadaan laitoksen kiertokuorma.



Kuva 7: Sköldvikissä olleen murskauslaitoksen periaatekuva ja siinä olleiden hihnavaakojen sijainti

Koska hihnavaakaa ei ollut mahdollista sijoittaa siten, että oltaisiin saatu autokuormakohtaisia punnitustuloksia, jouduttiin tässä kokeessa tarkastelemaan työvuoroittain hihnavaa'an antamien tuloksien tarkkuutta. Urakkaan kuului jokaisen autokuorman punnitseminen autovaa'alla, joten vertailupunnituksia ei tarvinnut erikseen suorittaa. Kokeessa selvitettiin työvuoroittain säteilyhihnavaa'an antamat murskemäärät ja autovaa'an antamat murskemäärät. Samoin selvitettiin laitoksen kiertokuorma.

Mittauksia suoritettiin 15.7. - 10.8.1981 välisenä aikana. Tänä aikana tuotannossa oli kolmea murskelajitetta. 15.-28.7. murskattiin lajitetta 0-30 mm, 29.7. lajitetta 0-65 mm ja 30.7. - 10.8. lajitetta 0-8 mm. Muutamia autokuormia punnittiin murskaamon oman autovaa'an lisäksi Neste Oy:n Sköldvikin autovaa'alla ja tulokset autovaaakojen kesken erosivat prosentoin verran.

6.3.2 Kokeen tulokset

Taulukossa 3 on esitetty Sköldvikin tutkimuksen tulokset. Taulukkoon 4 on koottu kokeen eri jaksoista lasketut keskimääräiset virheet. Erilaiset virheet on laskettu seuraavilla kaavoilla:

$$\text{virhe} = s - a$$

$$\text{virheen itseisarvo} = |s - a|$$

$$\text{virhe maksimikuorman mukaan} = s - m$$

$$\text{maksimikuorman mukaan lasketun virheen itseisarvo} = |s - m|$$

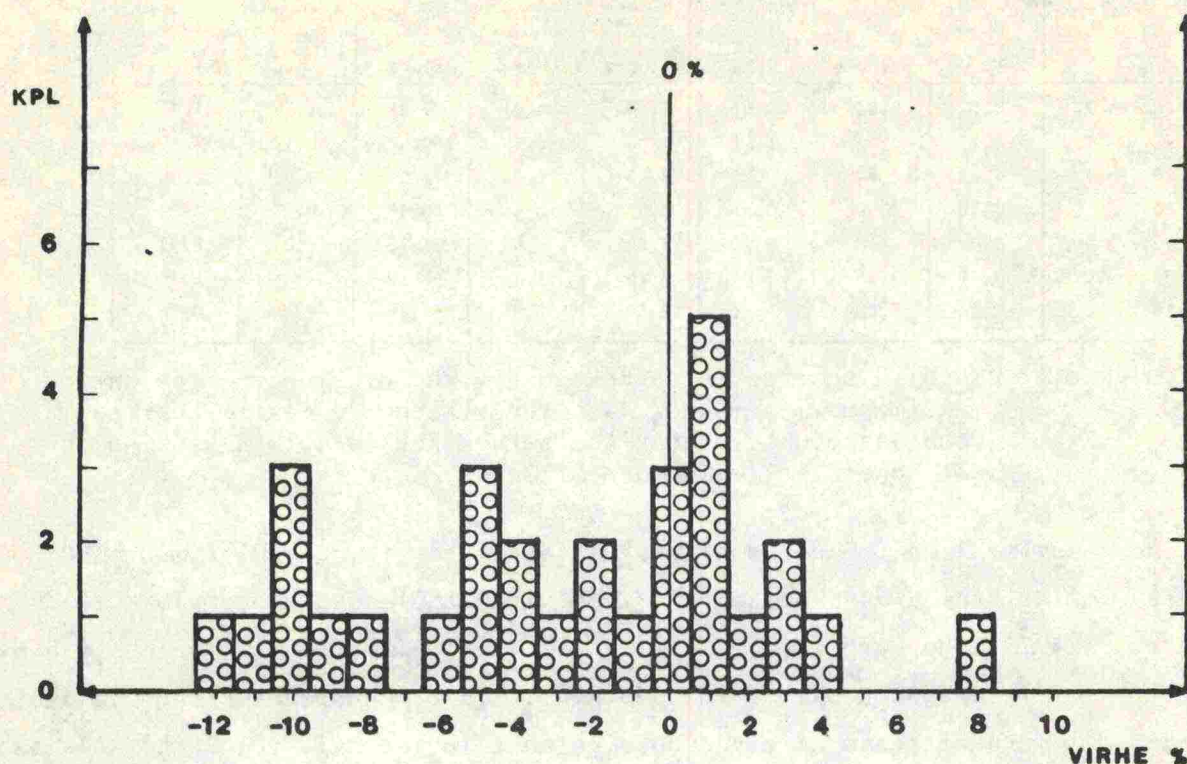
s = säteilyhihnavaa'alla saatu murskemäärä

a = autovaa'alla saatu murskemäärä

m = hihnan maksimikuljetuskapasiteettia vastaava murskemäärä

		Hihnavaaka t	Autovaaaka t	Hihnav. - autov.	%	Virhe % max kuorman suht.
LAJITE 0 - 30 mm						
15.7.	iv.	1 399,0	1 915,6	-516,6	-27,0	
16.7.	av.	1 386,1	1 889,5	-503,4	-26,6	
	iv.	1 800,4	1 885,8	-85,4	-4,5	-2,0
17.7.	av.	1 804,2	1 828,4	-24,2	-1,3	-0,6
	iv.	1 762,9	1 765,7	-2,8	-0,2	-0,07
20.7.	av.	1 875,1	1 817,3	+57,8	+3,2	+1,4
	iv.	1 888,9	1 854,1	+34,8	+1,9	+0,9
21.7.	av.	2 018,8	1 872,6	+146,2	+7,8	+3,7
	iv.	1 748,2	1 730,9	+17,3	+1,0	+0,4
22.7.	av.	1 763,6	1 754,4	+9,2	+0,5	+0,3
	iv.	1 827,9	1 813,4	+14,5	+0,8	+0,4
23.7.	av.	1 670,7	1 615,1	+55,6	+3,4	+1,4
	iv.	1 836,0	1 764,2	+71,8	+4,1	+1,8
24.7.	av.	1 404,6	1 367,2	+37,4	+2,7	+0,9
----- Vaaka 1 täsmennetty -----						
27.7.	iv.	1 871,6	1 890,4	-18,8	-1,0	-0,5
28.7.	av.	1 674,1	1 662,6	+10,5	+0,7	+0,3
	iv.	1 897,4	1 905,4	-8,0	-0,4	-0,2
LAJITE 0 - 65 mm						
29.7.	av.	1 918,4	1 925,3	-6,9	-0,4	-0,2
	iv.	1 942,3	1 976,8	-34,5	-1,8	-0,9
LAJITE 0 - 8 mm						
30.7.	av.	302,2	343,7	-41,5	-12,1	-1,0
	iv.	623,6	703,4	-79,8	-11,3	-2,0
31.7.	av.	542,3	592,0	-49,8	-8,4	-1,2
3.8.	iv.	694,3	768,2	-73,9	-9,6	-1,8
4.8.	av.	695,4	762,7	-67,3	-8,8	-1,7
	iv.	695,8	732,2	-36,4	-5,0	-0,9
5.8.	av.	722,3	753,4	-31,1	-4,1	-0,8
	iv.	691,2	727,4	-36,2	-5,0	-0,9
6.8.	av.	656,6	671,1	-14,5	-2,3	-0,4
	iv.	686,7	710,6	-23,9	-3,4	-0,6
7.8.	av.	711,8	739,2	-27,4	-3,7	-0,7
	iv.	570,0	632,7	-62,7	-9,9	-1,6
10.8.	av.	648,6	688,3	-39,7	-5,8	-1,0
	iv.	620,1	689,5	-69,4	-10,1	-1,7

Taulukko 3: Kesällä suoritetussa kokeessa työvuoroittain hihnavaa'alla määritetyt ja autovaa'alla määritetyt murskemäärät, näiden erotus ja erotuksen suhteellinen osuus autovaa'alla määritetystä murskemäärästä



Kuva 9: Vaaka 1:n työvuoroittaisten poikkeamien jakautuminen suuruusluokkiin

6.4 Tulosten tarkastelu

6.4.1 Tarkkuus

Vaa'an tarkkuus ei suoritetuissa kokeissa osoittautunut hyväksi. Erityisesti on huomattava tulosten suuri vaihtelu. Erittäin tasaisissa ja vakioina pysyvissä olosuhteissa päästään kohtuulliseen tarkkuuteen. Virhe on tällöin yleensä pienempi kuin 2 %. Vaaka vaikuttaa olevan erittäin herkkä erilaisille häiriöille. Myös kalibroinnin suorittamisessa vaaditaan suurta huolellisuutta ja tarkkuutta kohtuullisen tuloksen saavuttamiseksi. Tarkkuudeltaan kohtuullisia (virhe < 2 %) oli vain 11 mittausta kesällä suoritetuista 33 punnituksesta ja vastaavasti vain 2 talvella suoritetusta 5 punnituksesta.

Suoritetuissa kokeissa havaittiin, että ainakin sähköhäiriöt, kuljettimen pysähtymiset ja ilmeisesti myös hihnan pieni kuormitus vaikuttivat tuloksiin huomattavasti. Lisäksi nämä häiriöt tuntuvat vaikuttavan tuloksiin vielä jonkin ajan varsinaisen häiriötekijän poistumisen jälkeenkin. Murskattaessa hienoa lajitetta (0-8 mm) joutui hihna, jolla vaaka 1 sijaitsi, pysähtelemään huomattavasti. Syntyneiden suurten punnitusvirheiden arveltiin johtuvan nimenomaan hihnan pysähdyksistä. Tätä käsitystä tukee myös se, että hihnan työvuoroittain kuljettaman murskemäärän ja vaa'an tarkkuuden välillä ei ollut havaitta-

vissa lineaarista yhteyttä (lineaarisen regression korrelaatiokerroin 0,47), jolloin virhe ei syntynyt hihnan pienestä kuormituksesta.

Koska kummassakin kokeessa pystyttiin tarkkailemaan vain yhden vaa'an tarkkuutta, ei voida sanoa mitään eri vaakojen välisistä eroista. BSC:n kokeissa oli havaittu kahden erityyppisen vaa'an toimivan hyvin samanlaisesti ja erilaisissa poikkeustilanteissa oli vaakojen toiminta ollut samanlaista.

6.4.2 Käyttöominaisuudet

Käytön kannalta vaa'an parhaita puolia ovat sen pieni koko, suhteellisen helppo siirrettävyys, käyttömahdollisuus lyhyellä hihnalla ja paikoissa mihin ei voida asentaa esim. sähkömekaanista hihnavaakaa sekä helppo tulosten luku suoraan näyttölaitteesta. Käyttöä kuitenkin hankaloittaa kalibroinnin suoritus ja erityisesti kalibroinnin uusimistarve, sillä kummankin kokeen aikana vaaka oli heti ensimmäisen kalibroinnin jälkeen näyttänyt huomattavasti virheellisiä murskemääriä (virheet olleet +25,4 % ... -27,2 %). Hankaluutta vaa'an käyttöön aiheuttaa talviolosuhteissa tarvittava vaa'an lämmitys, mihin talvella suoritettussa kokeessa oli varattu 24 tuntia. Murskauslaitoksen yhteydessä käytetään usein aggregaatilla tuotettua sähköä, jolloin vaa'an lämmitys vaatii aggregaatin toimintaa esim. viikonvaihteen aikana. Samoin se vaatii usein myös henkilökunnan paikallaoloa. Aggregaattia käytettäessä syntyy virransyötössä usein katkoja, jotka vaikuttavat vaa'an luotettavuuteen. Laskinyksikön käytössä ja toiminnassa ei havaittu mitään vaikeuksia.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA EHDOTUS JATKOTOIMENPITEIKSI

Suoritetun kokeilun valossa radioaktiiviseen säteilyyn perustuva hihnavaaka ei vaikuta riittävän luotettavalta käytettäväksi laskutusmittarina. On kuitenkin otettava huomioon, että kokeiltavana oli vain yhden valmistajan vaaka ja vain yksi kappale, jolloin satunnaistekijät saattavat vaikuttaa tuloksiin. Kokeissa ei myöskään pyritty selvittämään säteilyhihnavaa'an toimintaan vaikuttavia tekijöitä kovin tarkkaan, jolloin pitkälle menevien johtopäätösten teko ei ole perusteltua. Koe antoi kuitenkin selviä viitteitä vaakojen toiminnasta ja toimintaan vaikuttavista tekijöistä.

Kun verrataan säteilyhihnavaakaa nykyisiin Suomessa käytössä oleviin menetelmiin, on se käyttömukavuudeltaan ja hankinta- sekä asennuskustannuksiltaan

autovaakaa parempi. Autovaakaan verrattuna poistuu myös punnitustapahtuman vaatima lisääaika ja -vaiva. Lavamittaukseen verrattuna on säteilyhihnavaa-alla tapahtuva mittaus selkeämpi ja yksiselitteisempi.

Kokeessa ei säteilyhihnavaa-alla päästy yhtä hyvään tarkkuuteen, mitä nykyisillä autovaaioilla saavutetaan. Erityisesti on huomattava tarkkuuden suuri hajonta. Tilavuusmittauksen tarkkuutta ei kokeissa pystytty selvittämään, joten nykyisin käytössä olevan tilavuusmittausmenetelmän ja säteilyhihnavaa-an tarkkuuksien eroista ei voida sanoa mitään varmaa. Koska lavamittauksessa saattaa satunnaistekijöistä johtuen (kuormaus ym.) kuormien todellinen tilavuus vaihdella huomattavasti teoreettisesta, saattaisi säteilyhihnavaaka tällöin olla parempi vaihtoehto. Ainakin autoilijoiden kannalta menetelmä on yksinkertaisempi ja selkeämpi

Kokeen perusteella kävi selväksi, että radioaktiivisella hihnavaa-alla on eräitä ominaisuuksia, joiden puolesta se soveltuisi käytettäväksi kiviainesta myytäessä tai ostettaessa, jos vaa-an tarkkuus saataisiin sellaiseksi, että sillä saataisiin erilaisissa olosuhteissa ja erilaisista häiriöistä huolimatta luotettavia tuloksia.

Muiden suoritettujen tutkimusten sekä eräiden käytännön kokemusten mukaan säteilyhihnavaa-alla on päästävässä n. 2 %:n tarkkuuteen, joten vaa-an toimintaa tulisi selvittää lisätutkimuksilla. Tällöin voitaisiin selvittää, miten eri tekijät vaikuttavat tarkkuuteen sekä verrata säteilyhihnavaakaa muihin mittausmenetelmiin. Samoin olisi hyvä selvittää, millaisia kokemuksia muualla, esim. Pohjoismaissa, on saatu vaa-an käytöstä.

KIRJALLISUUTTA

1. BOYCE I. S., CAMERON J. F., PIPER D., Nucleonic Conveyor-belt Weighers for Basic Metallurgy Industry ; Nuclear Technics for the Basic Metall Industry, Proceeding Symposium IAEA, Helsinki 1972
2. INTERCONTROL OY, Tuote-esitteet ja Ohmart-Weighart vaa'an käyttöohjekirja, Kouvola 1980
3. HOLD A. C., MORGAN D. W., WILLIAMS K. F., Application of Gamma-Ray Absorption to the Determination of Flow of Materials on Conveyor Systems, Nuclear Technics for Basic Metall Industry, Proceeding Symposium IAEA, Helsinki 1972
4. LOCKWOOD FRANK, Role of continuous Weighing in Aggregates processing, Highway and Public Works 1978: nro 1815
5. PUSA A., Soran ja murskeen punnitus. Murskausalun luentopäivät 8.-9.2.1978.
6. ÅLANDER J., Murskaamon ohjaus- ja säätöjärjestelmätutkimus. Diplomityö, Oulun yliopisto, Oulu 1978

HIHNAVAAKATUTKIMUS. OHMART-vaaka
Murskauslaitos Lokomo ML-75, Padasjoki
Yhteenveto eri työvuorojen murskausmääristä

Pv	Sää °C	Mursketta m ³ itd	Murskausaseman menetelmä- kapasiteetti: K2 = m ³ itd/h	Mursketta m ³ itd	Mursketta ton	Irtotiheys koko työvuor- ton/m ³ itd
Lajite 0 - 35 mm						
9.1	Räntä +1	438,0	62,9	424,4	774,6	1,83
13.1	Lumi -2	568,2	69,6	549,0	996,8	1,82
Σ	Sade -1	1 006,2	66,5	973,4	1 771,4	1,82
Hihnavaa'an säätö						
13.1	Lumi -1	20,6	41,2	-	-	-
14.1	Pouta -7	178,4	56,3	178,4	258,0	1,45
14.1	Pouta -5	590,8	86,3	590,8	975,1	1,65
15.1	Pouta -5	644,8	75,9	644,8	886,9	1,38
15.1	Pouta -4	601,6	76,7	601,6	1 015,2	1,69
16.1	Pouta -4	612,0	76,5	612,0	961,1	1,57
19.1	Lumi -10	541,2	67,7	541,2	886,7	1,64
19.1	Pouta -5	258,4	52,6	-	-	-
20.1	Lumi -7	522,1	74,0	508,9	796,3	1,57
20.1	Lumi -5	495,2	68,3	489,6	793,9	1,62
21.1	Pouta -8	94,0	47,0	94,0	137,0	1,46
21.1	Pouta -5	691,2	81,3	691,2	1 186,4	1,72
22.1	Pouta -3	707,9	83,3	702,9	1 206,9	1,72
22.1	Pouta -10	361,6	63,2	334,4	549,2	1,64
26.1	Pouta -10	548,2	73,2	526,8	869,9	1,65
26.1	Pouta -4	522,4	66,7	522,4	846,2	1,62
27.1	Pouta -7	608,5	78,5	608,5	1 090,7	1,79
27.1	Pouta -3	484,0	64,5	484,0	810,7	1,68
Σ	Pouta -5	8 482,9	72,3	8 131,5	13 270,2	1,63
Lajite 0 - 65 mm						
29.1	Pouta -2	751,4	100,2	746,2	1 293,3	1,73
29.1	Lumi -10	822,0	96,7	822,0	1 489,9	1,81
30.1	Vesi +2	751,6	93,1	487,4	805,0	1,65
Σ	Sade -10	2 325,0	96,6	2 055,6	3 588,2	1,75

HIHNAVAAKATUTKIMUS. OHMART-vaaka
Murskauslaitos Lokomo ML-75, Padasjoki
Yhteenveto punnituskuormien mittausarvoista

LABORATORIOTULOKSET

Pv	Sää °C	Murske m3itd	Hihnavaaka paino ton	Autovaaka paino ton	Irtotiheys hihna- vaa'an mukaan	Irtotiheys auto- vaa'an mukaan	Virhe %	Irtotiheys	Kiinto- tiheys	Muoto- arvo	Murto pinta- luku	Kosteus %	Los Angeles luku	
Lajite 0 - 35 mm														
13.1	Lumi -2	7,81	15,3	12,20	1,96	1,56	+25,4	1,70	2,71	2,25/1,54	31/31	2,9	23,3	
Hihnavaa'an säätö														
20.1	Lumi -7	7,29	10,9	11,42	1,50	1,57	-4,6	1,67	2,73	2,77/1,80	44/17	4,1		
22.1	Pouta -3	8,85	13,9	14,12	1,57	1,60	-1,6	1,59	2,72	2,61/1,80	38/24	3,2		
27.1	Pouta -7	8,46	13,5	13,44	1,60	1,59	+0,5	1,67	2,70	2,62/1,78	32/30	1,8		
Σ	Pouta -6	24,59	38,3	38,98	1,56	1,59	-1,9	1,64	2,72	2,67/1,79	38/24	3,0		
Lajite 0 - 65 mm														
29.1	Pouta -2	9,24	13,6	16,42	1,47	1,78	-17,2	1,81	2,72	2,13/1,51	9/67	2,3		

		0-W I	Auto- vaaka	0-W I - autovaaka	%	Suht. vir- he max. kuorm. muk. %	0-W II	0-W III	0-W II + 0-W III = kierto- kuorma
		t	t	t			t	t	t
LAJITE 0 - 30 mm									
15.7.	iv.	1 399,0	1 915,6	-516,6	-27,0		259,7	846,5	1 106,2
16.7.	av.	1 386,1	1 889,5	-503,4	-26,6		256,2	876,7	1 132,9
	iv.	1 800,4	1 885,8	-85,4	-4,5	-2,0	275,1	827,9	1 103,0
17.7.	av.	1 804,2	1 828,4	-24,2	-1,3	-0,6	275,7	819,2	1 094,6
	iv.	1 726,9	1 765,7	-2,8	-0,2	-0,07	249,8	800,8	1 050,6
20.7.	av.	1 875,1	1 817,3	+57,8	+3,2	+1,4	296,4	859,8	1 156,2
	iv.	1 888,9	1 854,1	+34,8	+1,9	+0,9	289,1	931,6	1 220,7
21.7.	av.	2 018,8	1 872,6	+146,2	+7,8	+3,7	354,6	863,6	1 218,2
	iv.	1 748,2	1 730,9	+17,3	+1,0	+0,4	293,6	823,2	1 116,8
22.7.	av.	1 763,6	1 754,4	+9,2	+0,5	+0,3	311,9	868,7	1 180,6
	iv.	1 827,9	1 813,4	+14,5	+0,8	+0,4	319,0	893,8	1 212,8
23.7.	av.	1 670,7	1 615,1	+55,6	+3,4	+1,4	308,7	725,1	1 033,8
	iv.	1 836,0	1 764,2	+71,8	+4,1	+1,8	314,0	875,7	1 189,7
24.7.	av.	1 404,6	1 367,2	+37,4	+2,7	+0,9	388,5	776,1	1 164,6
----- Vaaka 1 täsmennetty -----									
27.7.	iv.	1 871,6	1 890,4	-18,8	-1,0	-0,5	261,8	872,0	1 133,8
28.7.	av.	1 674,1	1 662,6	+10,5	+0,7	+0,3	244,0	734,9	978,9
	iv.	1 897,4	1 905,4	-8,0	-0,4	-0,2	313,3	890,8	1 204,1
LAJITE 0 - 65 mm									
29.7.	av.	1 918,4	1 925,3	-6,9	-0,4	-0,2	-1,3	751,5	750,2
	iv.	1 942,3	1 976,8	-34,5	-1,8	-0,9	-4,7	706,6	701,9
LAJITE 0 - 8 mm									
30.7.	av.	302,2	343,7	-41,5	-12,1	-1,0	189,5	269,2	458,7
30.7.	iv.	623,6	703,4	-79,8	-11,3	-2,0	0	0,3	0,3
31.7.	av.	542,3	592,0	-49,8	-8,4	-1,2			
3.8.	iv.	694,3	768,2	-73,9	-9,6	-1,8	381,6	677,1	1 058,7
4.8.	av.	695,4	762,7	-67,3	-8,8	-1,7	392,4	58,8	451,2
	iv.	695,8	732,3	-36,4	-5,0	-0,9	0,1	0	0,1
5.8.	av.	722,3	753,4	-31,1	-4,1	-0,8	380,8	64,0	444,8
	iv.	691,2	727,4	-36,2	-5,0	-0,9	423,7	126,0	549,7
6.8.	av.	656,6	671,1	-14,5	-2,3	-0,4	313,3	487,7	801,0
	iv.	686,7	710,6	-23,9	-3,4	-0,6	409,4	647,7	1 057,1
7.8.	av.	711,8	739,2	-27,4	-3,7	-0,7	399,2	660,9	1 060,1
	iv.	570,0	632,7	-62,7	-9,9	-1,6	866,1	685,0	1 551,1
10.8.	av.	648,6	688,3	-39,7	-5,8	-1,0	436,8	736,6	1 173,4
	iv.	620,1	689,5	-69,4	-10,1	-1,7	434,4	743,7	1 178,1

Sköldvikissä suoritetun kokeen tulokset. Taulukkoon on laskettu vaa'an 1 ja auto-
vaa'an antamat murskemäärät, niiden erotus ja erotuksen suhteellinen osuus auto-
vaa'an ilmoittamasta murskemäärästä, vaa'an 2 ja 3 tulokset ja niiden summa, joka
on laitoksen kiertokuorma.